

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

Patentschrift

DE 100 13 409 C 1

⑮ Int. Cl.⁷:
B 29 C 70/48

⑯ Aktenzeichen: 100 13 409.2-16
⑯ Anmeldetag: 17. 3. 2000
⑯ Offenlegungstag: -
⑯ Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 23. 11. 2000

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:

DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑯ Erfinder:

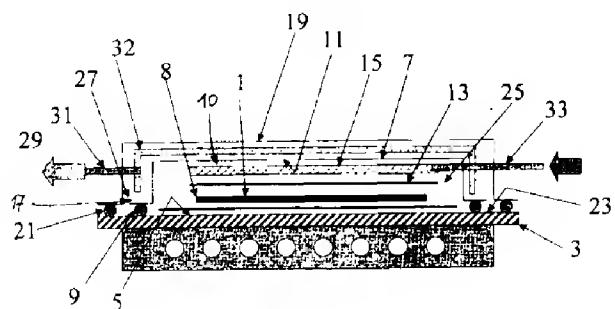
Filsinger, Jürgen, Dipl.-Ing., 85653 Aying, DE;
Lorenz, Torsten, Dipl.-Ing., 86161 Augsburg, DE;
Stadler, Franz, 85113 Böhmfeld, DE; Utecht, Stefan,
86916 Kaufering, DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 198 13 105 A1

⑯ Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von faserverstärkten Bauteilen mittels eines Injektionsverfahrens

⑯ Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoff-Bauteilen aus trockenen Faserverbund-Halbzeugen mittels eines Injektionsverfahrens zur Injektion von Matrix-Material, wobei ein Anordnen des Faserverbund-Halbzeugs (1), an dessen einer Oberfläche (11) eine Fließhilfe (15) angeordnet ist, auf einem Werkzeug (3), die Bildung eines ersten Raums (10) mittels einer gas-durchlässigen und Matrix-Material-undurchlässigen Membran (7), der die Halbzeuge (1) umgibt, und die Bildung eines zwischen dem ersten Raum und der Umgebung gelegenen zweiten Raums (27) mittels einer gas- und Matrix-Material-undurchlässigen Folie (19) vorgesehen sind, wobei durch Absaugen von Luft aus dem zweiten Raum (27) Matrix-Material aus einem Vorratsbehälter in den evakuierten ersten Raum (10) gesaugt wird und die Fließhilfe (15) eine Verteilung des Matrix-Materials über der dieser zugewandten Oberfläche (11) des Halbzeugs (1) und ein Eindringen derselben senkrecht in das Halbzeug (1) bewirkt.



DE 100 13 409 C 1

DE 100 13 409 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoff-Bauteilen aus trockenen Faserverbundhalbzeugen mittels eines Injektionsverfahrens und einer anschließenden Niederdruckaushärtung sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Derartige Verfahren verwenden trockene Faserverbundhalbzeuge, sogenannte Preforms, um Bauteile mit abwickelbarer, nicht abwickelbarer oder nicht vollständig abwickelbarer Geometrie herzustellen. Das trockene Faserverbundhalbzeug kann hierbei als Gewebe, als Multiaxialgelege oder als kettverstärktes unidirektionales Halbzeug vorliegen. Die genannten Preforms finden bei der Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoff Anwendung und sind ein Zwischenarbeitsgang, bevor die Infiltration durch Harz und die Aushärtung erfolgt.

Ein derartiges Verfahren ist als sogenanntes Resin Film Infusion (RFI) Verfahren bekannt. Hierbei werden trockene Kohlefasern (CFK), CFK-Gewebe oder CFK-Gelege in einer Aushärtvorrichtung abgelegt und von außen mit einer definierten nicht flüssigen Harzfilmlinie belegt. Die so bestückten und evakuierten Aushärtwerkzeuge werden dann in einem Autoklaven oder einem anderen Druckbehältnis unter Temperatur und Druckbeaufschlagung ausgehärtet. Die Verwendung von Druckbehältnissen und die hierfür notwendigen komplexen Werkzeuge sind jedoch sehr aufwendig und machen derartige Verfahren auch komplexe hinsichtlich einzuuhaltender Temperaturen und Drücke. Dadurch ist der Anwendungsbereich solcher Verfahren begrenzt.

Weiterhin ist die Verwendung trockener Preform-Teile aus der DE 198 13 105 A1 bekannt, in der ein Verfahren zur Herstellung von Faserverbund-Bauteilen offenbart ist, bei dem die Fasern und das Matrixmaterial in einem mindestens zwei Teile umfassenden, einen Form-Hohlraum bildenden Werkzeug geformt werden, wobei die im Formhohlraum befindliche Luft entweichen kann. Dabei wird Formhohlraumseitig vor den Öffnungen eine poröse Membran angebracht, deren Poren derart dimensioniert sind, daß die Luft ungehindert abführbar ist und das Matrix Material im Form-Hohlraum zurückgehalten wird.

Zwar wird bei der Lösung der DE 198 13 105 A1 auf die Druckaufbringung verzichtet. Jedoch ist ein Nachteil dieses Gegenstands, daß mit diesem Verfahren die Größe des herzustellenden Bauteils begrenzt ist, da das Matrix-Material nur begrenzt in die Fasern, d. h. die Preforms eingeführt werden kann, sofern hierfür z. B. ein zentraler Matrixanguss vorgesehen ist, da dann die Matrix längs der Preformebene, also entlang der Fasern, fließen muß. Diese Fließrichtung hat hierbei für die Matrix auf Grund der zurückzulegenden Strecke und des Werkstoffwiderstandes den größten Fließwiderstand. Eine Durehränkung ist somit in der Fließlänge begrenzt. Alternativ kann bei DE 198 13 105 A1 die Matrix flächig eingebracht werden, hierzu dienen Harzvorratsbehälter welche sich auf der Bauteiloberfläche befinden und jeweils eine eigene aufwendige Harzleitung bis zur Preform benötigen und somit an jeder Position das Risiko einer Undichtigkeit (Ausschuß-Risiko) aufweisen.

Ein weiterer Nachteil ist, daß dieses Verfahren nur bedingt sehr hohe, an das herzustellenden Bauteil gestellte Qualitätsstandards erfüllen kann, da durch die potentiellen Harzdurchführungen durch die Vakuumfolie und die Membran bis zur Preform-Oberfläche an vielen Stellen des Bauteiles Matrixwerkstoff durch die Membrane dringen kann und diese von oben versiegelt. Die Funktion der Entlüftung ist in diesem Fall nicht mehr gegeben und durch die Reaktion während des Aushärtvorganges (z. B. durch eingeschlossene Luft, chem. Abspaltung, flüchtige Bestandteile

u. a.) bilden sich innerhalb des Laminates Poren, welche nicht entsorgt werden können und die Bauteilqualität vermindern.

Andere bekannte Niederdruckverfahren wie z. B. VARI (Anmeldung unbekannt, DLR) verzichten auf die Membran und die zweiteiligen Vakuumräume. Sie lösen die Vermeidung von Poren durch eine Prozeßführung von Vakuum und Temperatur außerhalb des Siedebereiches des Matrixwerkstoffes. Es entstehen somit keine Poren im Bauteil. Allerdings ist von Nachteil, daß die Temperatur- und Vakuumführung an jeder Stelle des Bauteiles sehr exakt eingehalten werden muß, um nicht lokal in den Siedebereich der Matrix mit anschließender lokaler Porenbildung zu gelangen. Bei großen Bauteilen ist diese exakte Prozeßführung nur schwer und aufwendig realisierbar. Weiterhin von Nachteil ist bei diesem Verfahren, daß durch das permanente Vakuumsaugen Matrixwerkstoff aus dem Bauteil gesaugt werden kann, welche wieder für Poren verantwortlich sind. Zusätzlich ist eine Harzfalle o. ä. erforderlich um eine Beschädigung der Vakuumpumpe durch austretenden Matrixwerkstoff zu verhindern.

Die Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, ein Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoff-Bauteilen aus trockenen Faserverbundhalbzeugen mittels eines Injektionsverfahrens sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen, das sich auch für größere Bauteile eignet und mit dem ein möglichst einfacher Verfahrensablauf und gleichzeitig eine hohe Bauteilqualität erreichbar ist.

30 Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst.

Mit der erfindungsgemäßen Lösung lassen sich insbesondere Bauteile sehr hoher Qualität erzielen. Dies ist insbesondere für hochbelastete tragende CFK-Luftfahrtstrukturen vorteilhaft. Typische Kenngrößen für die Qualität der Bauteile ist z. B. der Porengehalt innerhalb des ausgehärteten CFK-Laminates und die Temperaturbeständigkeit, gemessen als sogenannter TG-Wert, welcher ein Maß für die sogenannte Glasübergangstemperatur des Matrixwerkstoffes nach dem Prozeß darstellt.

Inbesondere dient die erfindungsgemäße Lösung der Herstellung faserverstärkter Kunststoffbauteile aus Kohlefasern (CFK), Glasfasern (GFK), Aramidfasern (AFK), Borfasern (BFK) oder Hybridwerkstoffen mit abwickelbarer, nicht abwickelbarer oder nicht vollständig abwickelbarer Geometrie. Dabei eignet sie sich auch zur Herstellung unversteifter und versteifter, großflächiger Beplankungsfelder, Kunststoffwerkzeugen oder Schäftsungsreparaturen von geschädigten FVW Bauteilen. Die Versteilung kann eine sogenannte Integralversteifung (Profile aus CFK u. a., Profile als Kombination von Sandwich und CFK u. a.) oder eine typische flächenhafte Sandwichstruktur sein.

Die erfindungsgemäße Lösung bietet ein kosteneffektives Verfahren zur Herstellung faserverstärkter Bauteile, Kunststoffwerkzeuge und Reparatur-Patches für Schäftsungen durch eine Vakuuminjektionstechnik und eine autoklavlose bzw. überdrucklose Aushärtung unter Vakuum.

Die Erfindung wird im folgenden an Hand der beiliegenden Figuren beschrieben, die zeigen:

55 Fig. 1 einen Schnitt durch die erfindungsgemäße Vorrichtung in schematischer Darstellung, mit der das erfindungsgemäße Verfahren durchführbar ist,

Fig. 2 einen typischen Aufbau für ein integralversteiftes Bauteil als Sandwichhutprofilvariante in der Vorrichtung nach der Fig. 1,

Fig. 3 einen typischen Aufbau für ein integralversteiftes Bauteil als T-Profilvariante in der Vorrichtung nach Fig. 1

Fig. 4 einen typischen Temperatur- und Vakuum-Verlauf

über die Zeit für ein sogenanntes 350°C System,

Fig. 5 einen typischen Temperatur- und Vakuum-Verlauf über die Zeit für ein sogenanntes Raumtemperatur (RT)-System,

Fig. 6 einen Schnitt durch eine alternative Ausführungsform der erfundungsgemäßen Vorrichtung in schematischer Darstellung.

Die in **Fig. 1** dargestellte Vorrichtung zeigt das herzustellende Bauteil oder trockene Faserverbund-Halbzeuge **1**, das auf einem Werkzeug **3** z. B. mittels eines Aufbaus **5** angeordnet ist. Das Bauteil oder Laminat kann dabei ein Kunststoffbauteil aus Kohlefasern (CFK), Glasfasern (GFK), Aramidfasern (AFK), Borfasern (BFK) oder Hybridwerkstoffen mit abwickelbarer, nicht abwickelbarer oder nicht vollständig abwickelbarer Geometrie sein und insbesondere zur Herstellung unversteifter und versteifter, großflächiger Beplankungsfelder, Kunststoffwerkzeugen oder Schäftsungsreparaturen von geschädigten VW-Bauteilen verwendet werden. Die Versteifung kann dabei eine sogenannte Integralversteifung (Profile aus CFK u. a., Profile als Kombination von Sandwich und CFK u. a.) oder eine typische flächenhafte Sandwichstruktur darstellen. Das Werkzeug **3** weist eine zur Aufnahme des Bauteils **1** bzw. gegebenenfalls des Aufbaus **5** geeignete Form auf und kann aus verschiedenen geeigneten Materialien, z. B. Holz Stahl, Blech, Glas und dergleichen, gehölter sein.

Das Bauteil **1** ist mit einer semipermeablen Membran **7** überzogen, die gasdurchlässig ist, jedoch den Durchtritt von Matrix-Material verhindert. Die Membran **7** ist außerhalb der Umfangsfläche **8** aber möglichst dicht am Bauteil **1** mittels einer Dichtung **9** abgedichtet, die der Abdichtung des durch die Membran **7** und der Auflage **5** bzw. der Werkzeugoberfläche **3** gebildeten ersten Raums **10** dient. Alternativ kann die Membran **7** auch um das gesamte Bauteil herumgeführt sein, wie es in der **Fig. 6** dargestellt ist. Dies kann mit der Dichtung **9** (**Fig. 6**) oder auch ohne einer solchen durch einteiliges Ausbilden der Membran **7** erfolgen. Zwischen dem Bauteil **1** und der Membran **7** kann über der gesamten der der Membran **7** zugewandten Oberfläche **11** des Bauteils **1** ein Abreißgewebe **13** (optional) und ein Abstandhalter als Fließhilfe **15** angeordnet sein, das bzw. der die Funktion hat, die Membran **7** in einem Abstand zur Oberfläche **11** des Bauteils **1** zu halten. Die Fließhilfe **15** kann eine Art Rost oder Gitter oder auch ein steifes Gewebe bzw. Gewirk oder Geflecht sein, welches sich nicht unter Vakuum stark kompaktieren lässt und z. B. aus den Werkstoffen Metall, Kunststoffen oder textilen Halbzeugen besteht.

Die Anordnung **17** aus Aufbau **5**, Bauteil **1**, Membran **7** mit Dichtung **9** sowie mit Abreißgewebe **13** und Fließhilfe **15** ist überdeckt mit einer Folie **19**, die gas- undurchlässig ist. Diese ist um den Umfang der Membran **7** herum mit einer Dichtung **21** auf dem Werkzeug **3** abgedichtet, so daß der von der Oberfläche **23** des Werkzeugs **3** und der Innenwand **25** der Folie **19** gehördete zweite Raum oder Innenraum **27** zur Umgebung dicht ist. Zwischen der Folie **19** und der Membran **7** ist ein Lüftergewebe **32** eingelegt, welches z. B. ein Glasgewebe ein Vlies o. a. sein kann. Dieses Lüftergewebe **32** hat die Funktion die durch die Membran aus dem Innenraum **27** abgesaugte Luft und Gase im Innenraum **25** entlang der Membranoberfläche zur Ahsaugung durch die Vakuumpumpe **29** zu leiten. Dieser Innenraum **27** ist mittels einer Vakuumpumpe **29** (nicht gezeigt) und einer entsprechenden in den Innenraum **27** hineinführenden Gasleitung **31** evakuiert. Weiterhin verläuft in den Innenraum **27** eine zweite Leitung **33**, durch die Matrix-Material und insbesondere Harz in den Innenraum **27** eingeführt werden kann.

Zur Einführung von Matrix-Material in das Bauteil **1** füh-

ren Schläuche oder Leitungen **33**, die an einen Harzvorratsbehälter (nicht gezeigt) angeschlossen sind, in einen im ersten Raum **10** gelegenen Raum **25**. Das Werkzeug und der Vorratsbehälter für das Matrix-Material stehen jeweils entweder auf Heizplatten, innerhalb einer Wärmekammer, innerhalb einer heizbaren Flüssigkeit (Ölbad o. ä.) oder innerhalb eines regelbaren Ofens, sofern das gewählte Harzsystem eine thermische Behandlung während der Injektion benötigt.

10 An die Folie **19**, an das Abreißgewebe **13**, an die Membran **7**, an das Lüftergewebe **32** und an die Fließhilfe **15** werden als gemeinsame Anforderung eine Beständigkeit gegen die verwendeten Matrixsysteme während der Prozeßdauer und eine Beständigkeit gegenüber während des Prozesses auftretenden Temperaturen gefordert. Entsprechend der abgebildeten Geometrie muß eine Ablage in dieser Geometrie durch Dehnung, Faltenlegung o. ä. möglich sein.

Die Folie **19** ist eine dem Stand der Technik entsprechende Vakuum-Membran, welche gas- undurchlässig ist und die oben ausgeführten Merkmale aufweist. Als Funktion hat es die Aufgabe, den zweiten Raum **27** gegenüber der Umgebung abzudichten. Als typische Materialien hierfür kommen Folien oder Gummi-Membrane in Betracht. Beispiele für eine 180°C (350°F) Anwendung wären z. B. Folien auf Basis PTFE, FEP u. a. Andere Werkstoffe kommen je nach gewählten Matrixsystem und dessen spezifischen Aushärtetemperaturen unter Beachtung der oben beschriebenen Forderung in Betracht.

Das Abreißgewebe **13**, in der Literatur auch als Peel Ply bezeichnet, hat die Funktion, daß sich nach der Prozeßführung die mit Matrixmaterial gefüllte Fließhilfe **15** leichter durch abziehen (abreißen = Abreißgewebe), d. h. von dem Bauteil **1** trennen läßt, da alle aufgezeigten Hilfsstoffe nur als Hilfsmittel zur Herstellung des Bauteils **1** dienen. Das Abreißgewebe **13** ist so beschaffen, daß es keine dauerhafte Verbindung mit dem Matrixwerkstoff und der Bauteilloberfläche eingeht. Dieses wird durch die Oberflächenstruktur des Abreißgewebes und/oder durch zusätzliche Antihafbeschichtungen (wie z. B. PTFE, Silikon o. ä.) erreicht. Als typische Materialien sind Glasgewebe, Nylongewebe u. ä. anzuführen. Das Abreißgewebe muß gasdurchlässig und ebenso durchlässig für das Matrixmaterial in beiden Richtungen sein.

Die Membran **7** ist eine semipermeable Membran aus z. B. technischen Kunststoffmaterial, welche sich hinsichtlich der temperatur- und Medienbeständigkeit an den prozeßbedingungen orientiert. Weiterhin ist diese Membran durchlässig für Gase ist, jedoch ist sie für Flüssigkeiten mit Viskositäten vergleichbar Wasser nicht durchlässig. Dieses Verhalten wird durch in der Membran befindliche gasdurchlässige Poren erreicht, welche mehr oder minder großflächig auf der Membranoberfläche verteilt sind. Die Größe der Poren ist so gewählt, daß das Matrixsystem nicht durchdringen kann. Die Dicke der Membran bewegt sich im Zehntelmillimeter Bereich. Durch die Verwendung von typischen Kunststoffmaterial ist eine ausreichende Flexibilität zum Drapieren und Formen vorhanden.

Das Lüftergewebe **32** oberhalb der Fließhilfe **15** hat die Funktion die durch die Membran abgesaugte Luft und andere flüchtige Bestandteile zur Absaugung an die Vakuumpumpe **29** zu leiten. Dieses Material kann aus einem heliogenen Werkstoff sein, sofern dieser ausreichend temperatur-, medienbeständig gegenüber den im Prozeß notwendigen Werkstoffen ist und eine Luftleitung in Längsrichtung möglich ist. Eingesetzt werden hierfür flauschige Matten, Gewebe, Gewirke, Geflechte u. a., welche aus Metall, Kunststoff u. a. Werkstoffen sein kann.

Die Fließhilfe **15** hat die Funktion, den in den Raum **25**

durch die Matrixzuleitung gelangten Matrixwerkstoff auf der Bauteiloberfläche 1 das Verteilen zu ermöglichen. Die Fließhilfe 15 nimmt hierbei eine Funktion eines Fließkanals an. Die Fließhilfe 15 weist dabei eine Mindestdicke unter dem Vakuumaufbau der Folie 19 auf, um dieses Fließen zu ermöglichen. Es ist somit ein Abstandshalter, der einen Fließkanal zwischen der Membran 7 und dem Bauteil 1 bildet. Die Fließhilfe kann ein Geflecht, ein Gewebe, ein Gewirk o. ä. sein, welches durch möglichst eine grobmaschige Struktur aufweist, um einen geringen Fließwiderstand zu erzeugen. Als Werkstoff können beliebige Werkstoffe aus z. B. Metall oder Kunststoff o. a. verwendet werden, sofern die oben angeführten gemeinsamen Mindestforderungen (Temperatur und Medienbeständigkeit) erreicht werden. Die Matrix-Zuleitung 33 kann zur Unterstützung des Matrixtransports beliebig weit in den ersten Raum 10 geführt werden. Eine Verzweigung oder mehrere Zuleitungen sind zulässig. Innerhalb des ersten Raums 10 kann diese Matrixzuleitung Öffnungen aufweisen, welche z. B. Löcher, Querschlitzte, Längsschlitzte o. ä. darstellen. Hierdurch wird der Harztransport in der Fließhilfe unterstützt.

Fig. 2 und **Fig. 3** zeigen die erfundungsgemäße Vorrichtung nach der **Fig. 1**, nur ist dort zu Veranschaulichung jeweils ein andersartiges Bauteil 1 dargestellt, wobei Bestandteile gleicher Funktion die Bezugssymbole der Figur zugeordnet sind. Es ist erkennbar, daß sich die erfundungsgemäße Vorrichtung für nahezu beliebige Formen von Bauteilen eignet. Bei **Fig. 2** handelt es sich um die schematische Darstellung eines Beplankungsfeldes (Bauteil 1), welches in einer Richtung durch Hutprofile versteift ist. Diese Hutprofile weisen einen Schaumkern 35 oder einen mit beliebigen anderen Werkstoffen gebildeten Kern mit geschlossener Oberfläche und darüber abgelegte trockene FVW Halbzeuge 34 in Form eines Hutes auf. Die FVW Halbzeuge 34 sind hierbei aus dem gleichen oder ähnlichen Werkstoffen wie das Bauteil 1 gebildet. Der Schaumkern 35 und die Halbzeuge 34 sind Bestandteile des Bauteiles 1.

In der **Fig. 3** ist das Bauteil 1 ebenfalls ein Beplankungsfeld, welches in Längsrichtung mit einem oder mehreren T-Profilen 36 versteift ist. Das herzstellende Bauteil 1 nach der **Fig. 3** ist somit aus den Einzelbestandteilen 1 und 34 gebildet. Die T-Profilen 34 sind hierbei aus dem gleichen oder ähnlichen Werkstoffen wie das Bauteil 1 gebildet. Zusätzlich wird für diese Bauteilvariante eine Stütze 37 zur Fixierung der trocknen und im ungetränkten Zustand labilen T-Profilen 36 benötigt. Diese Stützen 37 können aus typischen festen oder semiflexiblen Werkzeugwerkstoffen wie z. B. Metall, Holz, Gummi, Kunststoff u. a. sein. Da ein direkter Kontakt mit dem Matrixwerkstoff erfolgt, muß dieser Werkstoff der Stützen 37 während des Prozesses gegenüber dem Matrixwerkstoff seine Form erhalten.

In den **Fig. 4** und **5** sind typische Verläufe für verschiedene Harzsystemklassen als Vakuumverlauf 91 und als Temperaturverlauf 92 dargestellt, wobei sich der Verlauf der **Fig. 4** auf ein 350°F (180°C) System und die Darstellung der **Fig. 5** auf ein RT-System bezieht.

Im einzelnen gliedert sich der Temperatur- und Vakuum-Verlauf in zumindest zwei Phasen, die Injektionsphase 101 und die Härtungsphase 103. Nach diesen Phasen kann noch eine Temperphase 102 vorgesehen sein. In der Injektionsphase 101 ist die Temperatur geringer als in der Härtungsphase 103.

Der Temperaturverlauf und die Vakuumsteuerung sind derart vorgesehen, daß bei dem ausgehärteten Bauteil eine optimale Qualität, geringe bis keine Poren und ein geeigneter Faservolumenanteil erreicht wird. Die Vorgaben für die Temperatur ergeben sich aus den Material-Anforderungen des Matrixwerkstoffes. Das Vakuum kann hierbei unabhän-

gig vom gewählten Matrixwerkstoff während des gesamten Prozesses bis zur Aushärtung, also dem Zustand in dem der Matrixwerkstoff seinen Aggregatzustand von flüssig in irreversibel fest geändert hat, auf gleichbleibendem Niveau gehalten werden. Übliche Werte und Toleranzen, die hierbei einzuhalten sind, sind z. B. 1 bis 10 mbar (Absolutdruck, nahe dem idealen Vakuum). Nach der Aushärtung 103 ist kein Vakuum mehr erforderlich. Die notwendigen Temperaturverläufe sind wie folgt charakterisiert: Während der Injektionsphase 101 bei vollen Vakuum ist eine Temperatur erforderlich, welche bestimmt wird durch die Viskositätskurve des Matrixwerkstoffes. Die Temperatur wird so gewählt, daß der Matrixwerkstoff ausreichend flüssig wird, um mittels Vakuumsaugen durch die Zuleitung 33 in den Innenraum 25 zugelangen. Dieses ist die Mindesttemperatur, welche für den Prozeß notwendig ist. Gleichzeitig darf diese Temperatur nicht so hoch gewählt werden, daß eine Aushärtung (Verlust von Viskosität, fester Zustand der Matrix) erreicht wird. Daher wird die Prozeßtemperatur so eingestellt (je nach gewählten Matrixwerkstoff), daß eine Injektion möglich ist (geringe Viskosität) und die verbleibende Zeit bis zur Aushärtung für die Injektion, also das nahezu vollständige Füllen des Innenraums 25 mit Matrixwerkstoff ausreichend ist (Fachbegriff z. B. Gel-Time). Typische notwendige Viskositäten während der Injektionsphase sind hierbei z. B. Bereiche von 1 bis 1000 mPas. Typische Temperaturen bei einem 350°F (180°C) System sind z. B. 70 bis 120°C für die Injektionsphase 101, ca. 100 bis 180°C für die Aushärtungsphase 103 und für die Temperphase 102 Werte von ca. 160 bis 210°C.

Für ausgewählte Matrixwerkstoffe z. B. RT-Matrixwerkstoffe ist die Variante Injektionstemperatur 101 identisch Härtungstemperatur 103 identisch Tempertemperatur 102 vorteilhaft.

Das Vakuum wird vor der Injektionsphase 101 (**Fig. 4**) oder vor derselben gebildet. Bei dem erfundungsgemäßen Verfahren wird für die Injektion ein Vakuum von typischerweise 1 bis 10 mbar erzeugt, das sich bis zum Ende der Aushärtungsphase erstreckt und nicht reduziert werden sollte.

Im folgenden wird das erfundungsgemäße Verfahren beschrieben:

In ein beliebiges Aushärtewerkzeug werden trockene Materialien (z. B. CFK Gelege, Gewebe etc.) gemäß konstruktiven Vorgaben positioniert und somit ein Laminataufbau aus den Halbzeugeinzelschichten gebildet. Das Werkzeug ist eingetrennt, d. h. mittels Trennmittel oder Trennschicht und Abreißgewebe (Zusammen bildet es den Aufbau 5 an der Bauteilunterseite von 1.) vorbehandelt, um ein Verkleben des Matrixwerkstoffes mit dem Werkzeug zu verhindern und ein wieder entfernen des Bauteiles (Entformen) von der Werkzeugoberfläche zu ermöglichen. Das trockene Material des Bauteiles 1 ist vorzugsweise mit dem Abreißgewebe 13 versehen. Zusätzlich wird ein sogenannter Fließhilfe 15 oberhalb dieses Aufbaus durch einsches Auflegen aufgebracht. Lokales seitliches Fixieren mit z. B. temperaturbeständigen Klebehändern ist bei komplexeren Bauteilen sinnvoll. Auf diese Fließhilfe 15 wird die nur für Luft, aber nicht für Flüssigkeiten durchlässige Membran 7 aufgelegt und mittels der Dichtung 21 abgedichtet. Anschließend wird das Lüftergewebe 32 über die Membran 7 gelegt und mittels der Folie 19 und der Dichtung 21 zur Umgehung abgedichtet. Die Matrixzuführungsleitung 33 und die Vakuumbleitung 29 werden während dieses Vorganges mit handelsübliche Durchführungen und Dichtungen gemäß **Fig. 1** eingebracht.

Nach der Aufbringung der genannten Materialien und der Folie oder Vakuumfolie 19 wird der erste Raum 10 mittels der Vakuumpumpe evakuiert. Gleichzeitig wird ein Matrixmaterial-Vorratsbehälter an das System angeschlossen, um

Matrix-Material in den ersten Raum **10** einzuleiten. Durch das Vakuuni entsteht ein Druckgefälle, welches das Matrix-Material aus dem Vorratsbehälter in den evakuierten ersten Raum **25** saugt. Das Matrix-Material wird nunmehr mehr oder weniger ungehindert und nahezu unabhängig von seiner Viskositäts-Charakteristik durch die Fließhilfe **15** und die Zuleitung **33** auf der Bauteiloberfläche verteilt. Vorhandene Luft wird hierbei durch das permanente Absaugen des Innenraumes **27** durch die Membrane **7** entsorgt. Ein Fließen des Matrix-Materials innerhalb des Laminataufbaus, welcher durch einen großen Fließwiderstand gekennzeichnet ist, erfolgt hierbei nicht. Vielmehr erfolgt die Infiltration von Matrix-Material von der Bauteiloberfläche senkrecht nach unten in das Laminat. Der maximale Fließweg an jeder Stelle des Bauteiles ist somit direkt eine Funktion der Bauteildicke an diesem Punkt. Der Fließwiderstand ist somit sehr gering und folglich können auch Harzsysteme eingesetzt werden, welche auf Grund Ihrer Viskosität in der Vergangenheit nicht infiltrationsfähig waren und Bauteile mit großen Abmessungen erzeugt.

Zur Vermeidung von lokalen Luftpolstern dient die Membran **7**. Erfolgt z. B. ein Schließen der sich bildenden Fließfronten und somit das Entstehen eines geschlossenen Luftposters im Bauteil **1** des Innenraumes **25** ohne Anbindung an den Vakuumabfluß der Luft, kann kein Harz in diese Luftpster einfließen. Es würde eine Fehlstelle entstehen (keine Durchtränkung). Die luftdurchlässige Membran **7** verhindert diesen Effekt, da an jeder Stelle des Bauteiles Luft immer senkrecht zur Oberfläche durch die Membran in einen belüftbaren harzfreien Raum des Vakuumaufbaus **27** gelangen kann und dort oberhalb der Membran **7** durch den Vakuumanschluß **29** mit Hilfe des Lüftergewebe **32** abgesaugt wird. Die Membran ist für das Harz nicht durchlässig. Somit ist eine Überwachung der Fließfronten nicht erforderlich, da sich der Prozeß der Durchtränkung selbst regelt. Der Grad der Durchtränkung ist eine direkte Funktion der eingebrachten Harzmenge, welche dem Prozeß zur Verfügung gestellt wird, sowie der eingebrachten Fasermenge.

Sobald die vollständige Durchtränkung abgeschlossen ist, wird unter Beibehaltung des gleichen Vakuums die Aushärtung durch eine geeignete Temperatur durchgeführt. Die hierbei durch den chemischen Prozeß entstehenden Blasen (Matrixsieden, flüchtige Bestandteile etc.) würden bei den bekannten Prozessen zur Porenbildung im fertigen Bauteil führen. Durch die Membran **7** wird dieses jetzt verhindert, da eine permanente Entlüftung senkrecht zur Oberfläche des Bauteiles durch die Membran erfolgt.

Nach erfolgter Aushärtung kann das Bauteil entformt werden. Dies bedeutet, daß alle Verfahrens-Hilfsmittel vom Bauteil **1** wieder z. B. durch abziehen von Hand entfernt werden und das Bauteil von dem Werkzeug **3** entfernt werden kann. Dieses nun entformte harte Bauteil mit aus den mit Matrix durchtränkten Halbzeugen kann je nach Anforderungsprofil einer reinen thermischen Nachbehandlung (Tempern im Schritt **102**) unterzogen werden. Das Tempern kann auch vor dem Entformen erfolgen, muß aber zur Reduzierung der Werkzeug-Belegungszeiten nicht durchgeführt werden.

Die Größe der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren herstellbaren Bauteile ist zur oberen Grenze hin nahezu unbegrenzt. Die natürliche obere Grenze ist eher in der technischen Handhabbarkeit des Bauteiles (Transport etc.) als in dem Verfahren zu suchen. Eine Mindestgröße für diese Bauteile gibt es nicht. Die maximal realisierbare Dicke richtet sich nach den verwendeten Harztypen und der zur Verfügung stehenden Injektionszeit. Diese Injektionszeit wird durch wirtschaftliche nicht durch technische Grenzen bestimmt. Andere unerwünschte Nebeneffekte wie z. B. eine

exotherme Reaktion während der Aushärtung sind nur abhängig vom Harzsystem und nicht vom Verfahren.

Zusammengefaßt handelt es sich erfindungsgemäß um ein Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoff-Bauteilen aus trockenen Faserverbund-Halbzeugen mittels eines Injektionsverfahrens zur Injektion von Matrix-Material, bei dem ein Absaugen von Luft aus dem zweiten Raum **27** erfolgt, wodurch sich ein Druckgefälle von dem ersten Raum **10** zu dem zweiten Raum **27** ergibt und Matrix-Material aus dem Vorratsbehälter in den evakuierten ersten Raum **10** gesaugt wird, das wegen der Fließhilfe **15** über der der Membran **7** zugewandten Oberfläche **11** des Halbzeugs **1** verteilt und senkrecht in das Halbzeug **1** eindringt. Die Verknüpfung der Funktionen Verteilung des Matrixmaterials oberhalb der Bauteiloberfläche durch die Fließhilfe und der flächigen Entlüftungsmöglichkeit oberhalb des Bauteiles und der Fließhilfe durch die Membranfolie erzielt den gewünschten Qualitätsfolg bei einer überdrucklosen Aushärtung unter Vakuum.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoff-Bauteilen aus trockenen Faserverbund-Halbzeugen mittels eines Injektionsverfahrens zur Injektion von Matrix-Material mit den Schritten:

- 1.1 Anordnen des Faserverbund-Halbzeugs (**1**) auf einem Werkzeug (**3**), wobei an einer Oberfläche (**11**) des Halbzeugs (**1**) eine Fließhilfe (**15**) angeordnet ist,
- 1.2 Bildung eines ersten Raums (**10**) mittels einer gas-durchlässigen und Matrixmaterial-undurchlässigen Membran (**7**) zumindest einseitig um das Halbzeug (**1**) herum, wobei in den ersten Raum (**10**) Matrix-Material einführbar ist,
- 1.3 Bildung eines am ersten Raum (**25**) anliegenden zweiten Raums (**27**), der von der Umgebung mittels einer gas- und Matrixmaterial-undurchlässigen, gegenüber dem Werkzeug (**3**) abgedichteten Folie (**19**) abgegrenzt ist,
- 1.4 Absaugen von Luft aus dem zweiten Raum (**27**), wodurch Matrix-Material aus dem Vorratsbehälter in den evakuierten ersten Raum (**10**) gesaugt wird und die Fließhilfe (**15**) eine Verteilung des Matrixmaterials über der dieser zugewandten Oberfläche (**11**) des Halbzeugs (**1**) und ein Eindringen desselben senkrecht in das Halbzeug (**1**) bewirkt.

2. Vorrichtung zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoff-Bauteilen aus trockenen Faserverbund-Halbzeugen mittels eines Injektionsverfahrens zur Injektion von Matrix-Material mit einem Werkzeug (**3**) zumindest Anordnen des Faserverbund-Halbzeugs (**1**), einer gas-durchlässigen und Matrixmaterial-undurchlässigen Membran (**7**), die zumindest einseitig um das Halbzeug (**1**) herum angeordnet ist und einen ersten Raum (**10**) bildet, in den Matrix-Material einführbar ist, einer an einer Oberfläche (**11**) des Halbzeugs (**1**) angeordneten Fließhilfe (**15**), einem am ersten Raum (**25**) anliegenden zweiten, gegenüber dem Werkzeug (**3**) abgedichteten Raum (**27**), der von der Umgebung mittels einer gas- und Matrixmaterial-undurchlässigen Folie (**19**) abgegrenzt ist, wobei bei Absaugen von Luft aus dem zweiten Raum (**27**), Matrix-Material aus dem Vorratsbehälter in den evakuierten ersten Raum (**10**) gesaugt wird und die Fließhilfe (**15**) eine Verteilung des Matrixmaterials über der dieser zugewandten Oberfläche (**11**) des Halbzeugs (**1**) und ein Eindringen desselben

senkrecht in das Halbzeug (1) bewirkt.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

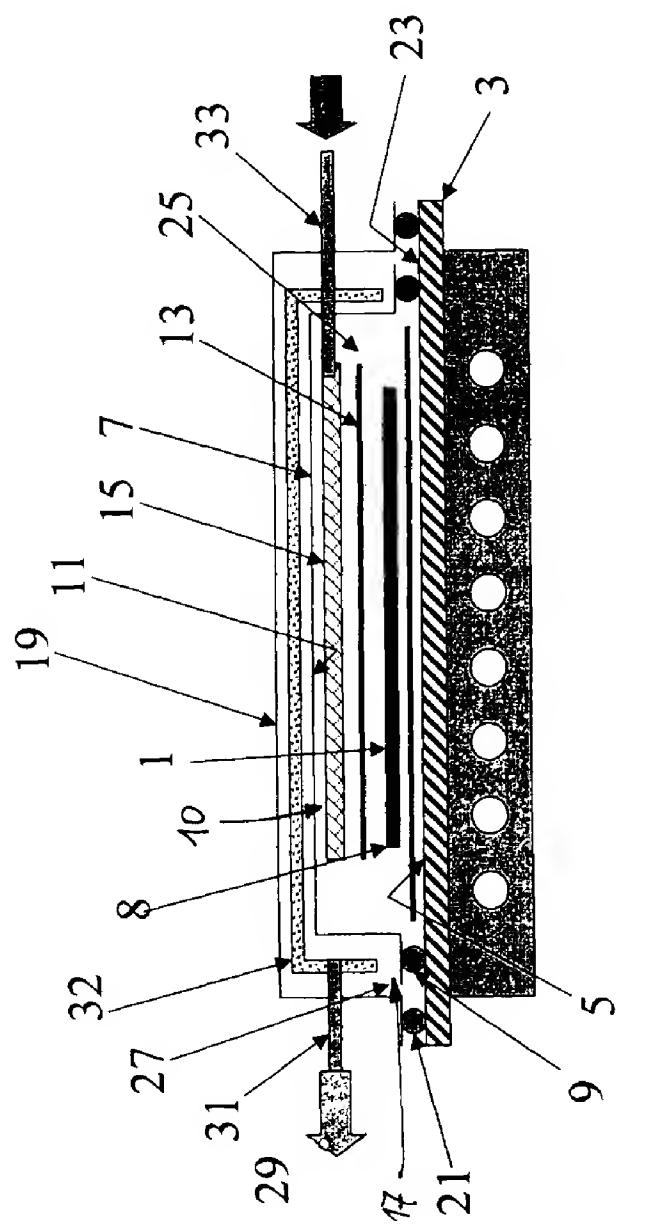


Fig. 1

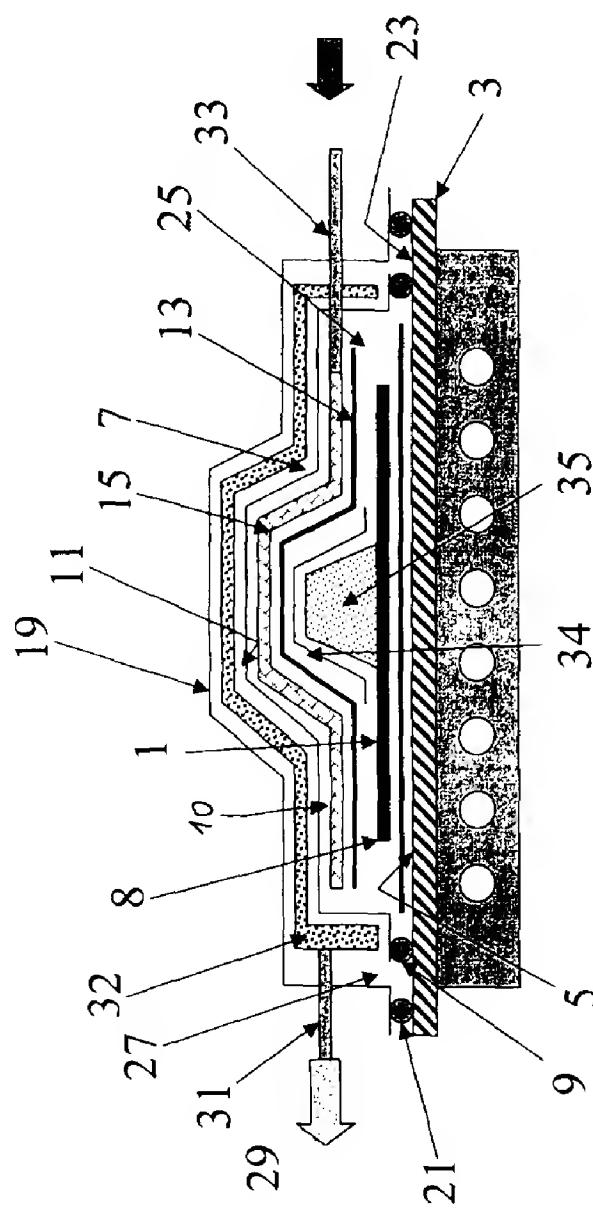


Fig. 2

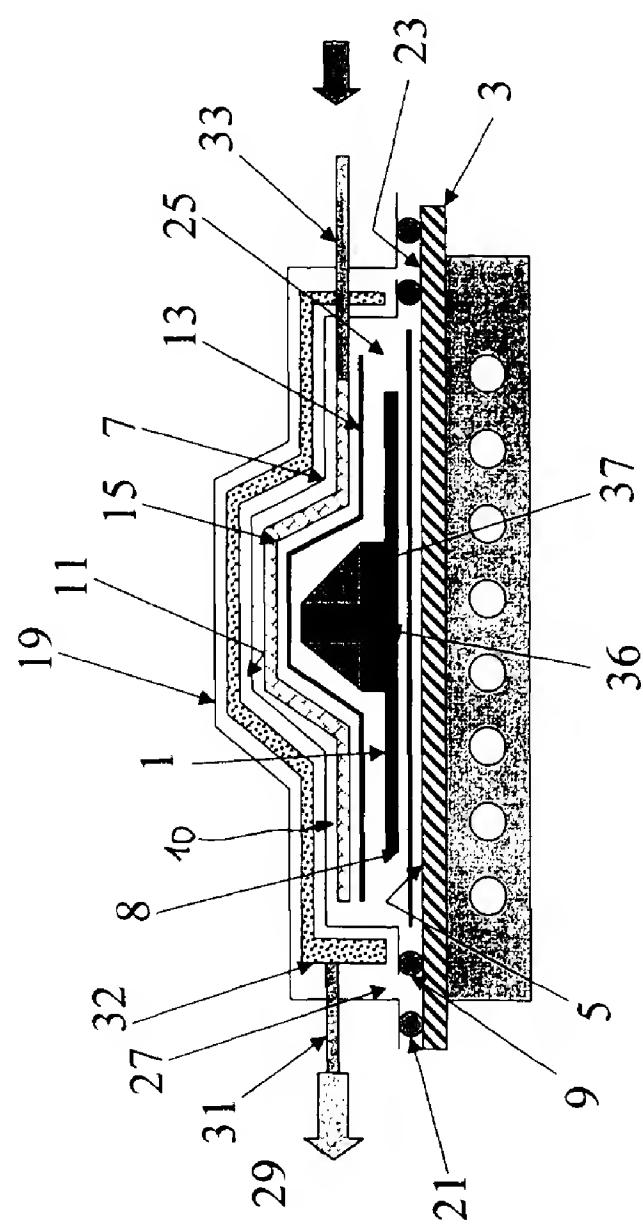


Fig. 3

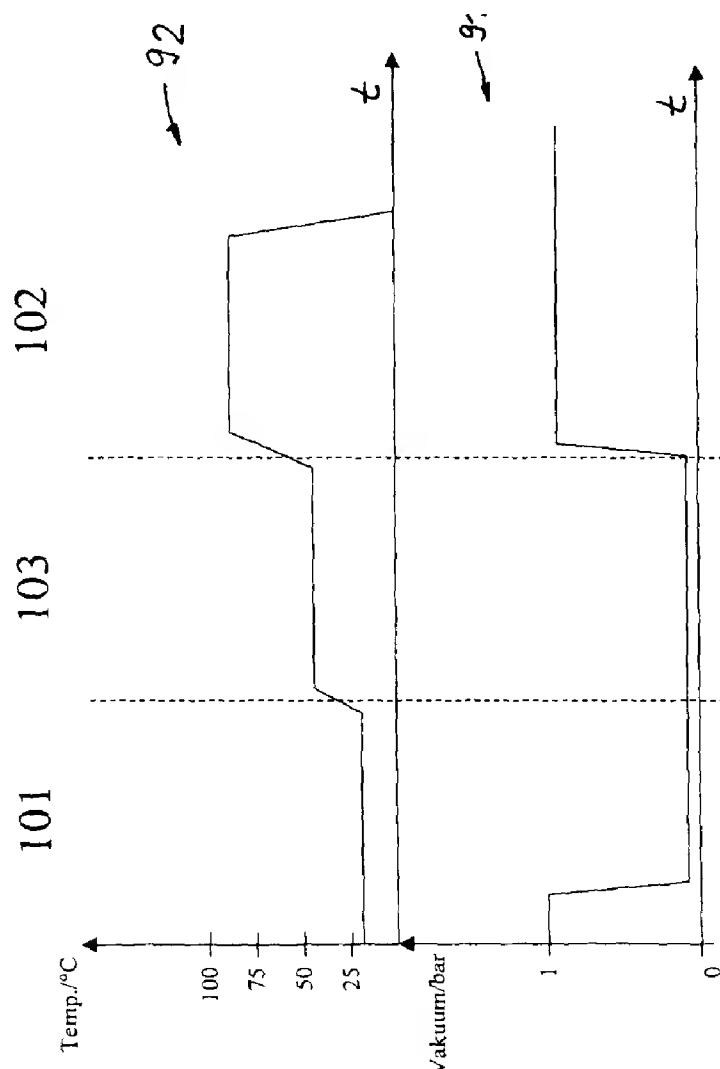


Fig. 4

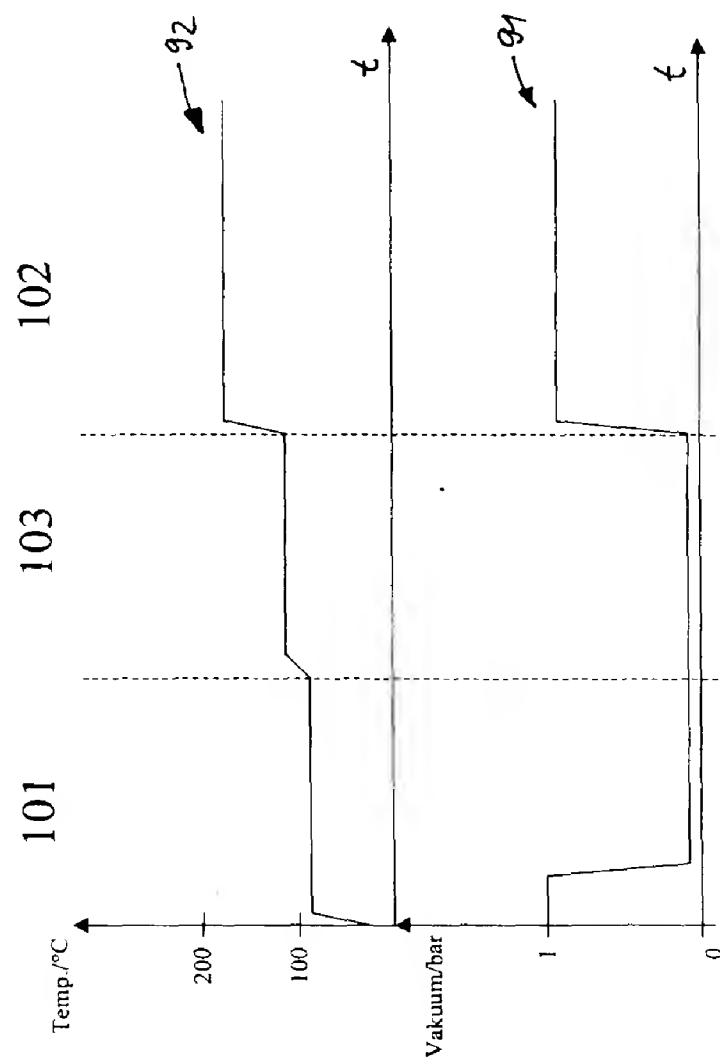


Fig. 5

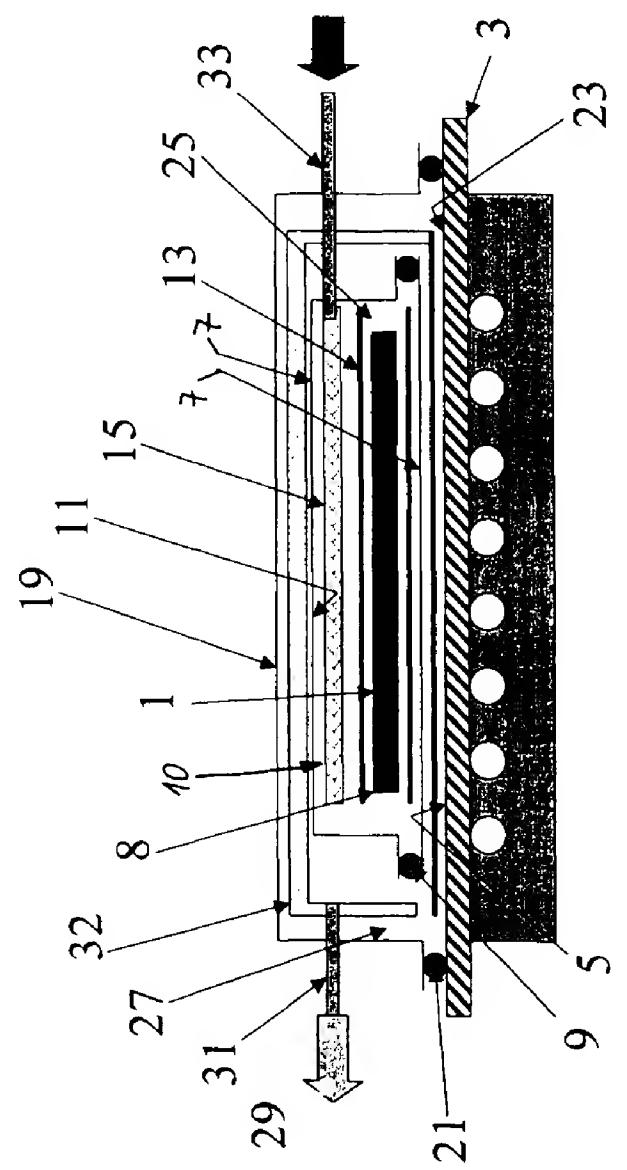


Fig. 6